

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТРАНСПОРТИРОВКИ ШЛАМА ПРИ БУРЕНИИ НАКЛОННО-
НАПРАВЛЕННЫХ СКВАЖИН

В.С. Ясенко

Научный руководитель - профессор, доктор физ. –мат. наук С.Н. Харламов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Аннотация. В статье представлены данные критического анализа материала [1-4] о комбинированном подходе к гидродинамическому моделированию и методу дискретных элементов (CFD – DEM) и его применение для описания потоков жидкости - шлама с учетом вращения буровой трубы. Рассмотрено математическое моделирование движения вязкой несжимаемой жидкости и твердой частицы шлама в поле сил тяжести. Сделаны выводы о влиянии вращения буровой трубы, наклона скважины, скорости проходки при бурении и скорости жидкости на входе на транспортировку шлама в скважине.

Ключевые слова: наклонно-направленные скважины, транспортировка шлама, моделирование, промывка скважины, буровой раствор, математическая модель, метод дискретных элементов.

Цель: Анализ метода сопряженного гидродинамического моделирования и метода дискретных элементов (Computational Fluid Dynamics – Discrete Elements Method) для моделирования процесса переноса частиц шлама в наклонно-направленных скважинах.

Ключевой проблемой при бурении скважин с большим отходом от вертикали является механизм транспортировки шлама буровым раствором. Эта трудность возникает из-за естественной тенденции твердых частиц шлама выходить из состояния слоя суспензии и формировать отложения. Это условие вызвано гравитационной силой, которая заставляет твердые фрагменты оседать на дне кольцевого сечения. Экспериментальные и численные исследования показали, что на транспортировку бурового раствора влияют многие параметры, такие как диаметр буровой трубы, скорость вращения буровой трубы, наклон скважины, эксцентриситет буровой трубы, реология бурового раствора и т.д.

В комбинированном гидродинамическом моделировании и методе дискретных элементов (CFD – DEM) жидкая фаза рассматривается как непрерывная фаза, описываемая локальными усредненными уравнениями Навье – Стокса в вычислительном масштабе ячеек, в то время как частицы шлама моделируются как дискретная фаза, описываемая законами движения Ньютона через поле сил. В [1-4] модель CFD – DEM сравнивается с традиционной гидродинамической моделью CFD Osgouei и Ozbayoglu (2013) [1], экспериментальными данными Osgouei (2010) [2] и формулой корреляции Yu et al. (2007) [3]

Сравнение (рисунок 1) между моделью CFD – DEM и экспериментальными данными иллюстрирует лучший прогноз концентрации частиц, по сравнению с моделью CFD и результатами формулы корреляции, особенно для более высоких скоростей проходки при бурении (ROP). Кроме того, формула корреляции демонстрирует, как правило, слишком высокие значения концентраций частиц для всех скоростей подачи жидкости по сравнению с экспериментальными данными, что делает ее прогнозы ненадежными.

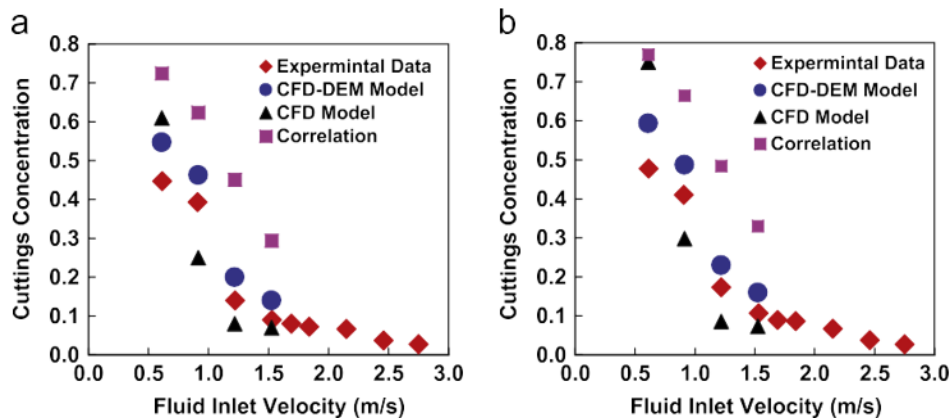


Рис. 1. Сравнение результатов различных моделей с экспериментальными значениями. (а) ROP=18.28 м/ч, (b) ROP=24.38 м/ч [4]

На рисунке 2 показан процесс отложения частиц вдоль скважины. Видно, что частицы постепенно накапливаются, и слой растет до определенной высоты, когда скорость потока жидкости достигает критического значения. В этот момент скорость жидкости настолько высока, что шлам не может осесть, и транспортировка по горизонтали гарантирована. С течением времени явление отложения частиц шлама продолжается по всей длине скважины. В конечном итоге достигается устойчивое состояние, и высота слоя становится постоянной по всей длине скважины.

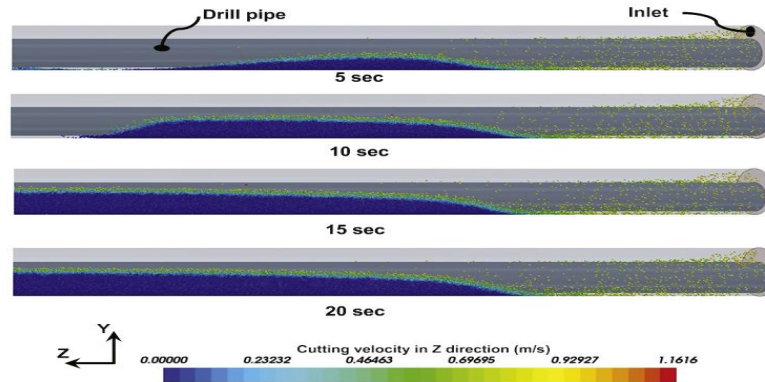


Рис. 2. Отложение частиц шлама вдоль ствола наклонной скважины с течением времени [4]

На рис. 3 показано влияние скорости вращения буровой трубы на концентрацию шлама для разных скоростей подачи жидкости и постоянной скорости проходки (ROP 24,38 м / ч). Как видно, вращение буровой трубы улучшает очистку скважины, особенно при низких скоростях подачи жидкости.

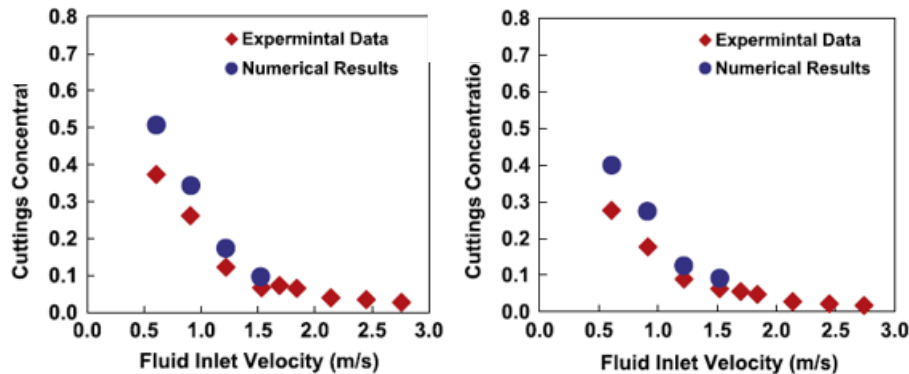


Рис. 3. Зависимость концентрации частиц шлама от скорости жидкости на входе при скорости проходки=24.35 м/ч и частоте вращения трубы= 80 (а) и 120 (б) [4]

Численное моделирование показывает, что буровой шлам распределён несимметрично относительно ствола скважины, и вращение буровой трубы значительно улучшает очистку скважины при низких скоростях подачи жидкости (до 0,6 м/с): например, при скорости жидкости на входе 0,5 м/с увеличение скорости вращения трубы с 80 об/мин до 120 об/мин снижает объемную концентрацию частиц шлама на 11%.

Кроме того, при низких скоростях подачи жидкости (до 0,6 м/с) и наклонах скважины от 40° до 60° увеличение вращения буровой трубы с 0 об/мин до 50 об/мин снижает концентрацию шлама на 5 %. Влияние вращения буровой трубы на уменьшение концентрации шлама практически не заметно при высоких скоростях подачи жидкости (более 1 м/с) при любом наклоне.

Литература

1. Osgouei R.E., Ozbayoglu M.E. CFD simulation of solids carrying capacity of a Newtonian fluid through horizontal eccentric annulus.// Proceedings of the ASME Fluids Engineering Division Summer Meeting. -2013. USA, July 7–11.
2. Osgouei, R.E. Determination of Particles Transports Properties of Gasified Drilling Fluids (Ph.D. thesis). Middle East Technical University. -2010
3. Yu. M., Takach, N.E., Nakamura, D.R., Shariff, M.M., 2007. An experimental study of hole cleaning under simulated downhole conditions // Proceedings of the SPE Annual Technical Conference and Exhibition. -2007. USA, November –P.11–14.
4. Akhshik S., Behzad M., Rajabi M. CFD-DEM Approach to Investigate the Effect of Drill Pipe Rotation on Cuttings Transport Behavior // Journal of petroleum science and engineering. -2015. -P.230–244.